UNTERSUCHUNGEN ÜBER RAUMGEWICHT UND SCHWINDMASS VON FRÜH- UND SPÄTHOLZ BEI NADELHÖLZERN

WISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNG

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

AN DER

STAATSWIRTSCHAFTLICHEN FAKULTÄT

DER

LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN

VORGELEGT VON

EUGEN VINTILĂ
AUS BERESTI (RUMÄNIEN)

ERSTBERICHTERSTATTER: DOZENT DR. R. TRENDELENBURG

ZWEITBERICHTERSTATTER: PROF. DR. L. FABRICIUS

VERLAGSBUCHHANDLUNG JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

Die Untersuchungen zu vorliegender Arbeit wurden an der Holzforschungsstelle der Forstlichen Versuchsanstalt und Technischen Hochschule unter der Leitung von Dr. Reinhard Trendelenburg, Dozent an der Universität München, ausgeführt.

Für die Anregung zu der Arbeit sowie für fortlaufende Beratung und Unterstützung während der Untersuchungen und bei der Abfassung in deutscher Sprache bin ich Herrn Dr. Trendelenburg zu herzlichstem Dank verbunden.

Bei der Ausarbeitung der Proben hat mich Herr O. Herzog, bei der Aufnahme der Zeichnungen Fräulein E. Zitzer unterstützt; beiden sage ich meinen besten Dank.

Ing. Eugen Vintilă.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Sonderdruck aus
„Holz als Roh- und Werkstoff", 1939, Heft 10, S. 345

I. Ausführung der Versuche. 1. Früh- und Spätholz. 2. Größere Holzproben. — II. Ergebnisse. 1. Allgemeines über Früh- und Spätholz der Nadelhölzer. 2. Raumdichtezahl und Raumgewicht von Früh- und Spätholz. 3. Porenraum und Wandraum von Früh- und Spätholz. 4. Schwindmaß von Früh- und Spätholz und sein Zusammenhang mit der Raumdichtezahl. 5. Vergleich des Schwindmaßes von Früh- und Spätholz mit dem Verhalten im ganzen unzertrennten Holzstück. 6. Feuchtigkeitsuntersuchungen an Früh- und Spätholz. III. Zusammenfassung.

Holz ist in den verschiedenen Richtungen des Raumes nicht einheitlich aufgebaut; während sich der Hauptteil seiner Zellen längs der Stammachse erstreckt, verlaufen andere Zellen quer dazu radial von innen nach außen. Auch die Einzelzelle besteht nicht aus einer gleichmäßigen Zellulosemasse, sondern weist einen eigenartigen spiraligen Feinbau auf, der ihr längs und quer eine unterschiedliche Beschaffenheit verleiht. Außerdem ist das Holz innerhalb des ganzen Stammquerschnittes nicht gleichförmig abgelagert, sondern in Form von konzentrischen Jahrringen aufgebaut; diese selbst bestehen wieder aus in sich ungleichen Schichten, dem Früh- und Spätholz.

Der so vielseitige Aufbau bringt nicht nur die für die Holzverwertung äußerst wichtigen Raumgewichtsschwankungen mit sich, sondern er ist auch Ursache für die unangenehme und dem Holz eigentümliche Eigenschaft des „Arbeitens" und „Werfens", d. h. des ungleichen Quellens und Schwindens, je nach der Feuchtigkeit von Holz und Umgebung.

Wenngleich es heute einige Möglichkeiten gibt, dem Holz diese Eigenschaft in gewissen Fällen weitgehend zu nehmen, muß doch bei der Hauptmenge des Bau- und Werkholzes stets mit diesem Nachteil gerechnet werden. Über die inneren Zusammenhänge sowie die Ursachen der großen Unterschiede des Quellens und Schwindens in den verschiedenen Richtungen herrscht nun trotz der so fühlbaren Auswirkung bisher keine völlige Klarheit. Dies liegt zum Teil daran, daß Untersuchungen von Holz wegen seines verwickelten Aufbaues in mancher Hinsicht schwieriger sind als die gleichmäßiger Stoffe.

Bei der vorliegenden Arbeit wurde deshalb versucht, einen Teil der Ungleichheiten des Holzes auszuschalten und in sich mehr homogene Körper zu prüfen; dies ließ sich durch die getrennte Untersuchung von Früh- und Spätholz bei Nadelhölzern erreichen. Nadelhölzer bieten zudem den Vorteil, in der Hauptsache aus einer Zellart zu bestehen. Es wurden nicht nur die Schwindmaße der Einzelkörper erfaßt, sondern auch die Grenzwerte und Streuungen innerhalb des Stammquerschnittes, ferner die Beziehungen zum Raumgewicht bzw. der Raumdichtezahl. Das Ziel war stets, allgemein brauchbare Unterlagen für die bessere zahlenmäßige Erfassung der Eigenschaften des Holzes zu gewinnen, die auch dann praktisch wichtig sein kann, wenn das Holz in Form feiner Einzellagen (Furniere) verwendet wird. Der Feuchtigkeitsgehalt (Wasser- und Luftanteil) von Früh- und Spätholz im frischen Zustand wurde für einen Fall (Kiefernholz) untersucht, da bisher noch nicht feststand, ob das Wasser im Baum gleichmäßig in Früh- und Spätholz gespeichert wird.

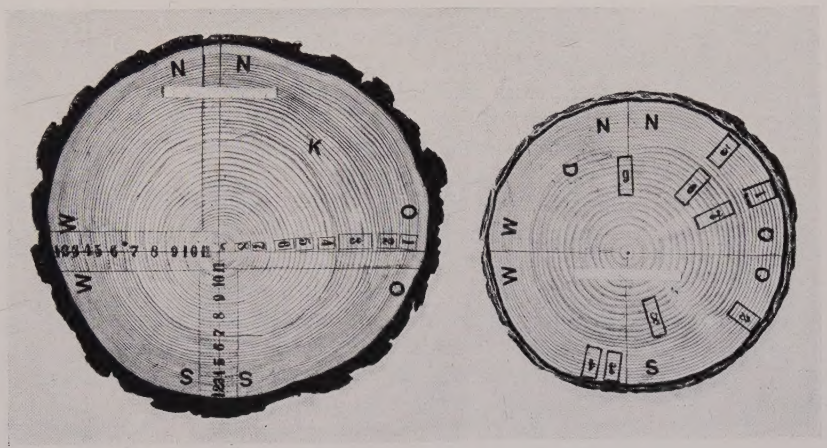

Bild 1. Probenentnahme aus den Stammscheiben (Kiefer und Douglasie).

I. Ausführung der Versuche.

1. Früh- und Spätholz.

a) Entnahme und Beschaffenheit der Proben.

Die Versuche erstreckten sich auf vier Holzarten: Kiefer, Lärche, Douglasie und Tanne. Es wurden vier Stämme gefällt und aus jedem zwei Scheiben — eine in 2,5 m und die andere in 10 m Höhe — entnommen. Aus den Scheiben, die eine Dicke von 12 cm hatten, wurden die Versuchsstücke nach einem Schema genau senkrecht zum Jahrringverlauf herausgeschnitten, so wie Bild 1 dies zeigt.

Jedes Versuchsstück, das eine gesamte Länge von 10 cm in der Längsrichtung hatte, wurde quer zur Achse in drei Teile geteilt, so daß die dadurch entstandenen Proben alle genau dieselben Jahrringe enthielten (Bild 2). Eines davon (*A* in Bild 2) wurde rechtwinklig

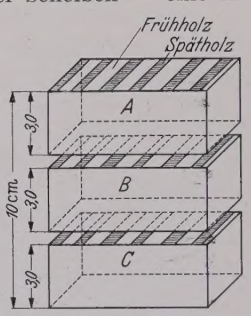

Bild 2. Schnittschema der Versuchsstücke.
A Ungespaltene Versuchsstücke. *B* und *C* Versuchsstücke, die in Früh- und Spätholzproben gespalten werden.

geschliffen, um die Schwindung in der Radial-, Tangential- und Längsrichtung zu messen. Die Versuchsstücke *B* und *C* dienten zur Herstellung der Früh- und Spätholzproben.

Da sich aus einem Stück das Früh- und Spätholz ohne Verlust nicht herausspalten läßt, wurde aus dem Versuchsstück *B* nur das Frühholz und aus dem Versuchsstück *C* nur das Spätholz herausgespalten. Es wurde zum Beispiel zur Gewinnung der Spätholzproben das Frühholz mit einem Stecheisen in der Längsrichtung durchstoßen, so daß zunächst noch ein Teil des Frühholzes an beiden Seiten der Spätholzprobe verblieb. Darauf wurde das noch anhaftende Frühholz vorsichtig mit dem Stecheisen entfernt und die so erhaltene Spätholzprobe mit Glaspapier glatt geschliffen. Um Messungen in allen drei Richtungen des Baumes vornehmen zu können, wurde die Probe auf allen Seiten möglichst rechtwinklig geschnitten. Entsprechend wurde bei der Herstellung der Frühholzprobe verfahren.

Bei der Feststellung der Grenze zwischen Früh- und Spätholz innerhalb desselben Jahrringes traten Schwierigkeiten auf, da der Übergang von Früh- zu Spätholz je nach Holzart und Jahrringbreite mehr oder weniger scharf ist. In solchen Fällen wurde, um Fehler zu vermeiden, die Grenze mit einer Lupe festgestellt und dann erst die Probe herausgeschnitten. Im ganzen wurden derart 520 Proben (260 Früh- und 260 Spätholzproben) entnommen. Davon entfielen 100 Proben auf Lärche, 150 auf Kiefer, 190 auf Douglasie und 80 auf Tanne. Die Zahl der größeren, mehrere Ringe umfassenden Proben betrug 30, außerdem wurden noch zahlreiche Früh- und Spätholzproben für Feuchtigkeitsbestimmungen entnommen (s. S. 355).

b) Verfahren der Seitenmessung.

Um das Schwinden von Früh- und Spätholz zu bestimmen, wurden die Proben in allen drei Richtungen im Frisch- und Darrzustand gemessen. Dazu diente eine Meßuhr (Ablesbarkeit $^1/_{100}$ mm), die an einem Meßtisch angebracht war und mit Hilfe von Endmaßen für beliebige Höhen sehr genau eingestellt werden konnte. Die Messungen wurden stets in denselben Punkten, die mit Tinte oder Tusche bezeichnet waren, ausgeführt (Bild 3). In der radialen Richtung wurde die Messung in den Punkten *1...4*, in der tangentialen Richtung in den Punkten *5* und *6* und in der Längsrichtung in den Punkten *7...10* durchgeführt.

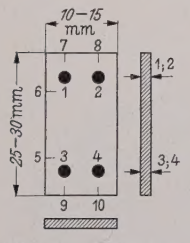

Bild 3. Schema der einzelnen Messungen an den Früh- und Spätholzproben.
1...4 Radiale Messungen, *5...6* tangentiale Messungen, *7...10* axiale Messungen.

Die Messung (Bild 4) konnte dadurch stets genau gleich ausgeführt werden, daß die Proben während der Tangential- und Längsmessung zwischen zwei kleine viereckige eiserne Klötze auf dem Meßtisch aufgestellt wurden. Zur Radialmessung war eine besondere Einrichtung erforderlich, da die Proben nach der Trocknung infolge ungleichen Schwindens nicht mehr mit der ganzen Fläche auf dem Meßtisch auflagen. So wurde eine Tastspitze von besonders kleiner Grundfläche verwendet, die ein Eisenstück von entsprechender Fläche als Widerlager hatte. Diese Vorrichtung gestattete, trotz geringer Krümmung der Proben, eine genaue Messung der Dicke in den einzelnen bezeichneten Punkten.

Es ist nötig, hier den Einfluß der Messung auf die Ergebnisse darzulegen: Auf der Meßuhr konnten $^1/_{100}$ mm abgelesen, die Hälfte noch geschätzt werden. Es zeigte sich aber, daß diese feinere Schätzung keine große praktische Bedeutung hatte, da andere noch zu besprechende Einflüsse stärker einwirkten.

So ergaben sich für die drei Richtungen die in Zahlentafel 1 angegebenen Genauigkeiten.

Die größte Genauigkeit wird in tangentialer Richtung erreicht, da die zu messende Länge mit 10 bis 15 mm und die gesamte Schwindung verhältnismäßig groß sind. In radialer und axialer Richtung liegen die Verhältnisse ganz anders. Radial hatten die Proben eine Dicke von nur 1,0...3,0 mm, wobei ihr Schwindmaß bei Frühholz nur 2,0...3,0% und bei Spätholz 6,0...10,0% betrug. In der Längsrichtung betrug die zu messende Länge 25,0...30,0 mm. Da aber die Schwindmaße sehr klein sind (0,05...0,40%), ist praktisch die Genauigkeit der Bestimmung geringer. Um sie zu erhöhen, wurden die Proben radial und longitudinal in 4 Punkten, und zwar in jedem Punkt dreimal, gemessen.

Große Schwierigkeit bereitete der von der Meßuhr auf die Probe ausgeübte Druck, da die äußeren Zellen besonders im frischen Zustand darunter sichtbar nachgeben. Die Versuche mit einer besonderen Meßuhr mit gleichbleibendem Druck waren ohne Erfolg, da dieser zu groß war (100 g) und es keine Möglichkeit gab, ihn herabzusetzen. Dann wurde eine gewöhnliche Meßuhr mit ansteigendem Druck benutzt, deren Hebel mit einem Gummiband gespannt wurde, so daß der Druck beliebig verkleinert werden konnte. Mit einiger Übung war schließlich zu erreichen, daß das Holz durch den Tastbolzen der Meßuhr nicht eingedrückt wurde.

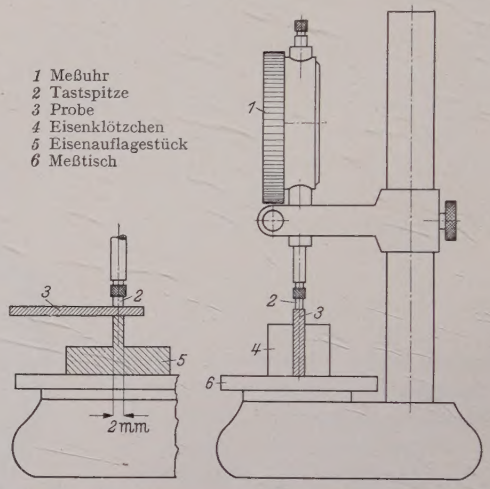

Bild 4. Schema der Messung der Proben in tangentialer und axialer Richtung (rechts) und in radialer (links).

c) Bestimmung des Rauminhaltes und des Gewichtes.

Aus den frisch und darrtrocken bestimmten Abmessungen konnte der Rauminhalt nicht rechnerisch ermittelt werden, weil die Proben keine völlig regelmäßige Form besaßen. Um das Frisch- und Darrvolumen zu ermitteln, wurde ein Tauchverfahren benützt. Bei Ermittlung des Frischvolumens war die verdrängte Flüssigkeit Wasser, beim Darrvolumen Petroleum. Hierbei wurde eine Analysenwaage mit Luftdämpfung und mechanischer Gewichtsauflegung der Bruchgramme benützt, die auch eine Projektionsablesung auf Mattscheibe bis zu 10 mg ermöglichte (Empfindlichkeit der Waage 0,1 mg). An dieser Waage wurde folgende hydrostatische Einrichtung hergestellt: Über der linken Waagschale wurde auf einer Brücke das Gefäß mit der Flüssigkeit aufgestellt. Dann wurde die Probe darüber an eine feine Nadel an den Waagbalken gehängt und gewogen.

Zahlentafel 1. Genauigkeiten der Messungen.

	Richtung	Länge der Probe mm	Ablesbarkeit der Uhr mm	Fehler %	Größe der zu bestimmenden Schwindmaße Frühholz %	Größe der zu bestimmenden Schwindmaße Spätholz %	Zahl der gemessenen Punkte	Zahl der Messung in jedem Punkt
1	Tangential	15,0...10,0	±0,01	±0,07...0,10	5,0... 7,0	9,0...12,0	2	1
2	Radial	3,0... 1,0	±0,01	±0,33...1,0	2,0... 3,0	6,0...10,0	4	3
3	Axial	30,0...25,0	±0,01	±0,03...0,04	0,10...0,35	0,05...0,30	4	3

Der Porenraum der frischen Proben war durch längeres Lagern in Wasser (zum Teil unter Luftpumpe) wassergesättigt. Um Fehler durch anhaftendes Wasser zu vermeiden, wurde dieses vor jeder Wiegung mit einem feuchten Tuch sorgfältig abgetupft. Anschließend wurde die Probe in das auf der Brücke stehende Gefäß getaucht und nochmals gewogen. Nach dem Archimedischen Prinzip ergibt die Gewichtsabnahme des Körpers seinen Rauminhalt. Gleichermaßen wurde bei der Darrvolumenbestimmung mit Petroleum verfahren. Das beim Tauchen der Probe ermittelte Gewicht ist durch das spezifische Gewicht des Petroleums zu teilen, um den Rauminhalt zu erhalten[1].

Das Wiegeergebnis der Holzproben in der Flüssigkeit wird durch die Adhäsion der Flüssigkeit an der Nadel fehlerhaft. Bei Petroleum wurde dieser Fehler durch eine Berichtigung von 3 mg ausgeglichen. Beim Wiegen in Wasser gelang es, den durch die Adhäsion hervorgerufenen Fehler bei der Ablesung auszuschalten.

Die Genauigkeit der Rauminhaltsbestimmung mit dem geschilderten Verfahren mußte theoretisch $\pm 0{,}02 \ldots 0{,}10\,\%$ sein, da die Proben 200...1000 mm³ Volumen hatten und die Empfindlichkeit der Waage 0,1 mg war. Praktisch aber betrug sie im Mittelwert nur $\pm 0{,}5\,\%$, war damit aber noch genügend groß.

Aus den drei durch Messung ermittelten Werten α_t, α_r und α_l läßt sich α_v berechnen[2]. Denselben Wert muß man aus der Volumenbestimmung in frischem und gedarrtem Zustand erhalten. Auf diese Weise wurden die Ergebnisse geprüft und wo nötig wiederholt.

d) Trocknung der Proben.

Nach der Messung und Volumenbestimmung im frischen Zustand wurden die Proben, nachdem sie vorher im Zimmer an der Luft getrocknet waren, bei 100° C bis zum gleichbleibenden Gewicht getrocknet. Nach der Trocknung wurden die Proben in einem Exsikkator über konzentrierter Schwefelsäure abgekühlt und dann in Wiegegläsern gewogen.

2. Größere Holzproben.

Zum Vergleich der Schwindung der Früh- und Spätholzproben mit jener des ganzen Holzkörpers wurde von jedem Versuchsstück ein Teil ungespalten gelassen (Teil A auf Bild 2) und in allen drei Richtungen an mehreren Punkten mit einer Mikrometerschraube gemessen.

Neben der Ausmessung des ganzen Körpers wurde die radiale Schwindung des Früh- und Spätholzes mit Hilfe von Nadeln ermittelt, die an den Grenzen von Früh- und Spätholz in das Holz eingesteckt wurden. Der Abstand der Nadeln wurde mit einer Meßvorrichtung von Leitz gemessen, die an der Holzforschungsstelle gewöhnlich zu Jahrringmessungen benützt wird. Die Genauigkeit wurde durch Verbindung mit einer Meßuhr auf $^1/_{100}$ mm gesteigert. Besonders erleichtert wurde das Messen durch die Ultropak-Auflichtbeleuchtung.

Die Holzprobe wurde so gelegt, daß die Nadeln sich in einer waagerechten Ebene befanden. Die Entfernung der Nadeln wurde in einem sehr kleinen Abstand vom Fußpunkt mit Hilfe des im Objektiv befindlichen Fadenkreuzes ermittelt.

Die Nadeln wurden, wie Bild 5 zeigt, in das Frühholz eingesteckt; um keinen zu kleinen Frühholzanteil zu erhalten, wurde die Dicke der Nadeln zum Frühholz hinzugerechnet.

Bei sehr schmalen Jahrringen ließ sich das Einstecken von Nadeln nicht mehr genau durchführen, weshalb Proben mit engringigem Holz (etwa unter 2 mm Ringbreite) hier nicht berücksichtigt wurden. Auch bei sehr breiten Jahrringen ist die Grenze zwischen Früh- und Spätholz schwer festzustellen. Trotzdem ergaben sich bei diesem Verfahren im Vergleich mit anderen (Beiser) brauchbare Meßwerte.

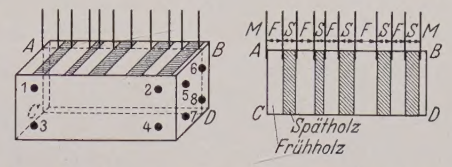

Bild 5. Anordnung der Nadeln zur Messung der radialen Schwindung von Früh- und Spätholz und Bezeichnung der Meßpunkte für die radialen und tangentialen Messungen des ganzen Probekörpers.

1...4 Tangentiale Messungen, *5...8* radiale Messungen. Messungslinie *MM*: *F* Frühholz, *S* Spätholz.

II. Ergebnisse.

1. Allgemeines über Früh- und Spätholz der Nadelhölzer.

Die Nadelhölzer besitzen einen einfachen und regelmäßigen Aufbau, der noch ursprünglicher als der der Laubhölzer ist. Das Holz setzt sich fast völlig aus Tracheiden zusammen; die Parenchymzellen, die im Holz zerstreut sind und die Markstrahlen aufbauen, treten ihnen gegenüber zurück. Die Tracheiden dienen gleichzeitig der Festigung und der Wasserleitung, im Gegensatz zu den Laubhölzern, bei denen diese Aufgaben von verschiedenen Zellarten übernommen werden. Scharf sind aber in jedem jährlich entstandenen Zuwachsring zwei Zonen zu unterscheiden: das Frühholz und das Spätholz. Die zu Beginn der Wuchszeit entstandenen Tracheiden sind dünnwandig, weitlumig und in erster Linie zur Wasserleitung bestimmt, während die im Sommer und am Schluß der Wuchszeit erzeugten Tracheiden dickwandig und englumig und mehr für die Festigung eingerichtet sind.

Auffallend ist es, mit welcher Schärfe der Übergang zwischen Früh- und Spätholz häufig vor sich geht; man hat sich oft Gedanken darüber gemacht, was das Kambium veranlaßt, auf einmal ganz anders gebaute Zellen zu erzeugen. Zahlreiche Theorien wurden über die Ursachen der Jahrringbildung aufgestellt; im Werk von Büsgen-Münch (1927) finden sich diese zusammengestellt. Erwähnt sei z. B. die Ansicht von Klebs, daß der Stoffwechsel die inneren Bedingungen schafft, die das Kambium zu dieser Artänderung der abgelagerten Zellen bringen. Hierbei soll das Verhältnis der Menge der Kohlenstoffverbindungen zu der der Mineralstoffe eine ausschlaggebende Rolle spielen. Im Frühjahr zur Zeit des Knospenaufbruchs stehen dem erwachenden Kambium Wasser und Mineralstoffe, unter ihnen besonders Kalium, reichlich zur Verfügung; es bildet Frühholz. Im Sommer sind mehr Kohlenstoffassimilate vorhanden; die Mineralstoffmenge ist gleich geblieben, hat sich nur vermutlich in ihrer Zusammensetzung geändert (mehr Kalzium, weniger Kali) und die Wasserversorgung ist schlechter geworden; das Kambium geht zur Spätholzablagerung über. Die Schwierigkeit all dieser Theorien liegt darin, daß sie nie erklären können, warum der Übergang oft so scharf abgesetzt erscheint, da sich doch solche Stoffwechseländerungen nur ganz allmählich auswirken können. Die neuesten botanischen Forschungen machen es sehr wahrscheinlich, daß es Änderungen in der Wuchsstoffversorgung sind, die den Übergang mit sich bringen.

[1] Es wurde gewöhnliches Handelspetroleum mit spezifischem Gewicht 0,840 benützt; zur Entfernung von Wasserspuren wurde es durch Kupfersulfat filtriert.

[2] $\alpha_v = \alpha_t + \alpha_r + \alpha_l - \frac{\alpha_r \cdot \alpha_t}{100} - \frac{\alpha_t \cdot \alpha_l}{100} - \frac{\alpha_r \cdot \alpha_l}{100} + \frac{\alpha_t \cdot \alpha_r \cdot \alpha_l}{100^2}$.
Da aber die Längsschwindung verhältnismäßig sehr klein ist, können die letzten 3 Glieder vernachlässigt werden und man erhält die einfache Beziehung: $\alpha_v = \alpha_t + \alpha_r + \alpha_l - \frac{\alpha_r \cdot \alpha_t}{100}$.

Zahlentafel 2. Zusammensetzung von Früh- und Spätholz verschiedener Holzarten (nach G. J. Ritter und L. C. Fleck).

Holzart	Stammteil	Holzteil	g in 100 g trockener Holzmasse					
			Essigsäure	Methoxyl	Pentosan	Lignin	Zellulose	Pentosan in Zellulose
Douglas fir	Kern	Frühholz	0,62	3,48	11,97	32,61	55,95	8,31
		Spätholz	0,71	3,40	9,89	29,20	59,35	6,50
Western white pine . .	Kern	Frühholz	1,42	3,68	10,07	26,30	57,60	7,27
		Spätholz	1,40	3,85	9,82	25,30	60,00	6,94
Loblolly pine	Splint	Frühholz	1,28	4,05	11,59	28,12	58,06	8,78
		Spätholz	1,41	4,18	11,12	26,78	61,21	8,69
Loblolly pine	Kern	Frühholz	1,00	6,17	12,77	26,78	53,44	11,52
		Spätholz	1,11	6,88	12,12	24,18	52,87	11,20

Zumal die Untersuchungen von Gouwentak (1936) zeigen, daß bei reichlicher Wuchsstoffversorgung Frühholz, bei weniger reichlicher Spätholz erzeugt wird. Die Wuchsstoffversorgung wieder steht in Zusammenhang mit der Entwicklung des Längstriebes und des Laubes. (Weiteren Schrifttumnachweis siehe bei Trendelenburg 1939.)

Die Tracheiden sind regelmäßig in radialen Reihen angeordnet; sie sind im Frühholz nahezu quadratisch, im Spätholz dagegen radial schmäler als tangential und von 4- bis 6eckigem Querschnitt. An der Ringgrenze sind die Tracheiden abgeplattet.

Zwischen den Tracheiden verlaufen in radialer Richtung die aus Parenchymzellen gebildeten Markstrahlen, die zur Speicherung und Leitung von organischen Stoffen in der Querrichtung dienen. Sie sind in der Regel eine Zellreihe breit (nur wenn sie einen waagerechten Harzgang umschließen, sind sie mehrere Zellreihen breit).

Viele Nadelhölzer besitzen daneben noch Markstrahltracheiden, die am Rand der Markstrahlen verlaufen und Wasser befördern.

Die Anordnung der Markstrahlzellen mit ihrer Längsachse quer zur Achse der Tracheiden hat Bedeutung für das Schwindmaß des Holzes, worauf noch zurückzukommen sein wird.

Der Hauptunterschied im Aufbau von Früh- und Spätholz liegt in der Wanddicke, die bei den Spätholztracheiden 2- bis 3mal so dick wie bei den Frühholztracheiden ist. Dies bedingt das höhere Raumgewicht des Spätholzes. Der Übergang in der Wanddicke von Früh- zu Spätholz ist nicht immer scharf; er ist von der Holzart und der Wuchsgeschwindigkeit abhängig. Douglasie und Lärche haben im allgemeinen eine schärfere Abgrenzung des Spätholzes als die Fichte. Bei raschwüchsigem Holz ist der Übergang stets viel weniger scharf als bei langsamwüchsigem.

Auf den Radialflächen der Tracheiden befinden sich Hoftüpfel, die im Frühholz besonders groß und zahlreich sind. Im Spätholz sind sie schmal, oft spaltenförmig.

Die Wände der Tracheiden sind nicht einheitlich aufgebaut; sie bestehen aus mehreren Schichten, deren Feinbau und chemische Beschaffenheit verschieden ist. Im allgemeinen verlaufen die Micellreihen auf der tangentialen Wand steiler als auf der radialen; sie werden durch die Tüpfel abgelenkt und laufen um diese herum.

Auf die primäre Wand, die schon im Kambium erzeugt wird, folgt die Verdickungswand oder sekundäre Wand, die aus 3 Schichten besteht, einer schmalen, äußeren, einer breiten, mittleren (der früheren Sekundärwand) und einer schmalen inneren Wandschicht. Die mittlere Schicht ist zumal im Spätholz stark entwickelt; sie besitzt meist steileren Micellverlauf als die äußere.

Der Steigungswinkel der Micellspiralen ist nicht fest; in jungem Holz ist er flacher als in älterem, im Frühholz flacher als im Spätholz; Rotholz hat besonders flach ansteigende Micellreihen. Auch die Gleichrichtung der Micelle ist im Früh- und Spätholz verschieden; in letzterem besser als in ersterem. Je besser die Gleichrichtung, desto fester und schwerer ist das Holz.

Auch die chemische Zusammensetzung von Früh- und Spätholz ist hier zu erörtern, da sie für die Verwertung des Holzes wichtige Unterschiede zeigt und in dieser Arbeit zur Erklärung der Verhältnisse beim Schwinden des Holzes heranzuziehen sein wird.

Die jungen Zellwände bestehen in erster Linie aus Zellulose, in die im Verlauf der Verholzung das Lignin eingelagert wird. Während das Lignin aus kleinen ungeordneten Molekülen besteht, ist die Zellulose aus langen Kettenmolekülen aufgebaut; sie bildet ein kristallines Grundgerüst. Die anteilmäßige Zusammensetzung von Früh- und Spätholz wurde zuerst von amerikanischen Forschern untersucht. Wie Zahlentafel 2 zeigt, findet sich im Frühholz vor allem mehr Lignin als im Spätholz. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die stark verholzte sog. „Mittellamelle" im Frühholz überwiegt.

Andere Untersuchungen zeigten, daß Spätholz besonders reich an α-Zellulose ist, was bei der Verarbeitung zu Kunstfasern wichtig ist.

2. Raumdichtezahl und Raumgewicht von Früh- und Spätholz.

Einleitend wurde dargelegt, wie sehr sich Früh- und Spätholz im anatomischen Aufbau, der chemischen Zusammensetzung und im physikalischen Feinbau unterscheiden. Der anatomische Bau insbesondere bringt große Gewichtsunterschiede in den Einzelteilen eines Jahrrings mit sich. Es folgt daraus, daß der Anteil an dem schweren, dickwandigen Spätholz das Gewicht und die technischen Eigenschaften (Festigkeit, Härte u. a.) des Holzkörpers maßgeblich beeinflußt. Um hier nun sichere Grundlagen zu schaffen, schien es wichtig, zunächst einmal das Raumgewicht von Früh- und Spätholz getrennt zu erfassen und die innerhalb eines Querschnitts vorhandenen Schwankungen festzulegen.

a) Häufigkeitskurven der Raumdichtezahl.

Raumdichtezahl (R) und Raumgewicht (r_0) wurden für alle vorliegenden Proben ermittelt[1]. Bei Douglasie und Kiefer konnten infolge der verhältnismäßig großen Zahl von Proben Häufigkeitskurven getrennt für Früh- und Spätholz aufgestellt werden (Bild 6).

Die Häufigkeitskurven von Früh- und Spätholz überschneiden sich nicht; zwischen dem Höchstwert des einen und dem Mindestwert des anderen ist ein Zwischenraum von 0,14 bzw. 0,19 g/cm³. Innerhalb eines Stammes sind also Früh- und Spätholz immer scharf im Gewicht unterschieden. Ob bei Heranziehung einer sehr großen Zahl von Proben aus unterschiedlichsten Standortsbedingungen Ge-

[1] Raumdichtezahl $(R) = \frac{\text{Darrgewicht}}{\text{Frischvolumen}}$ [g/cm³], Raumgewicht $(r_0) = \frac{\text{Darrgewicht}}{\text{Darrvolumen}}$ [g/cm³].

wichtsüberschneidungen vorkommen, bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten[1].

Außerdem sieht man, daß die Streuungsbreite beim Spätholz etwa doppelt so groß ist wie beim Frühholz. Die Streuung steht einigermaßen in gleichem Verhältnis zu den Unterschieden des Raumgewichts, da das Spätholz mehr als doppelt so schwer wie das Frühholz ist; doch streut das Spätholz auch anteilmäßig etwas mehr als das Frühholz. Dies ist auch nach der Betrachtung von Holzquerschnitten zu erwarten; je nach den Witterungsverhältnissen im Sommer kann das Kambium innerhalb des Spätholzes auch Zonen lockerer gebauten Holzes ablagern.

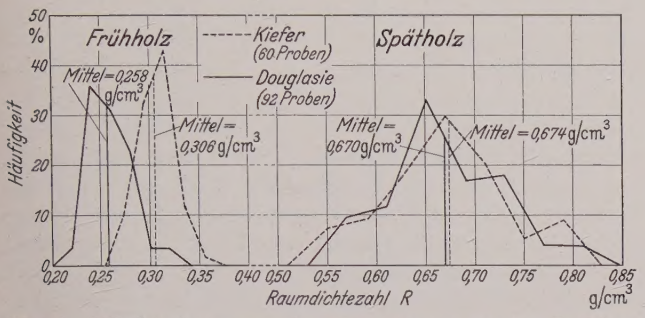

Bild 6. Häufigkeitskurven der Raumdichtezahl für Frühholz und Spätholz von Kiefer und Douglasie.

Von den zwei anderen Holzarten wurden keine Häufigkeitskurven der Raumdichtezahl entworfen, da die Zahl der Proben nicht ausreichte. Immerhin zeigte sich bei Tanne eine auffallend geringe Streuung beim Spätholz, die sich mit der von Lärche nicht überschnitt. Dies paßt gut zu der an sich verhältnismäßig kleinen Gewichtsstreuung des Tannenholzes, die auf deren ökologische Eigenart zurückzuführen sein dürfte.

Lärche hat sehr schweres Spätholz mit kleiner Streuung; der Mindestwert der Raumdichtezahl fällt etwa mit dem Mittelwert von Kiefer und Douglasie zusammen. Beim Frühholz der Lärche zeigte sich dagegen eine sehr starke Gewichtsverschiedenheit, die anscheinend auf die Verkernung zurückzuführen ist. Die Splintproben waren im Durchschnitt leichter als die Kernproben des Frühholzes. Möglicherweise dient das Frühholz der Lärche zum Teil für die Ablagerung der Kernstoffe.

b) Durchschnittswerte.

Für die untersuchten Holzarten sind in Zahlentafel 3 die Mittelwerte für Raumgewicht und Raumdichtezahl von Früh- und Spätholz zusammengestellt.

Zahlentafel 3. Mittelwerte für Raumgewicht und Raumdichtezahl von Früh- und Spätholz bei Douglasie, Kiefer, Lärche, Tanne.

	Holzart	Raumdichtezahl (R) g/cm³			Raumgewicht (r_0) g/cm³		
		Frühholz	Spätholz	Verhältnis	Frühholz	Spätholz	Verhältnis
1	Douglasie	0,258	0,670	1 : 2,6	0,282	0,837	1 : 3,0
2	Kiefer .	0,306	0,674	1 : 2,2	0,343	0,830	1 : 2,4
3	Lärche .	0,323	0,822	1 : 2,5	0,360	1,040	1 : 2,9
4	Tanne .	0,254	0,534	1 : 2,1	0,277	0,625	1 : 2,3

Folgendes läßt sich entnehmen und im Vergleich zu anderen Arbeiten feststellen:

1. Holzarten mit leichtem Frühholz haben auch leichtes Spätholz und umgekehrt; Früh- und Spätholz gehen im Raumgewicht bis zu einem gewissen Grad einander parallel. So ergibt sich folgende aufsteigende Reihenfolge für Raumgewicht und Raumdichtezahl: Tanne, Douglasie, Kiefer, Lärche. Der Gewichtsunterschied zwischen leichtestem und schwerstem Holz beträgt beim Frühholz 0,070 g/cm³ und beim Spätholz 0,288 g/cm³ für die Raumdichtezahl (bei der sich Unterschiede im Schwindmaß hier nicht auswirken können).

2. Die Tanne hat das leichteste Gewicht der untersuchten Nadelhölzer. Aus Untersuchungen von Trendelenburg und Schaile (Trendelenburg 1939) ergibt sich, daß die Raumdichtezahl der Fichte 0,30 g/cm³ (Frühholz) und 0,75 g/cm³ (Spätholz) beträgt. Somit läßt sich die Tatsache, daß Tannenholz trotz des oft höheren Spätholzanteils im Durchschnitt leichter als Fichtenholz ist, in erster Linie aus dem verhältnismäßig niedrigen Gewicht ihres Spätholzes erklären.

3. Lärchenholz steht am anderen Ende der Reihenfolge; das Spätholz ist deutlich schwerer als bei dem untersuchten Kiefernholz. Die Gewichtsverschiedenheit von Kiefern- und Lärchenholz ist also nicht nur auf Unterschiede im Spätholzanteil zurückzuführen; freilich ist darauf hinzuweisen, daß gerade bei Kiefer große Schwankungen vorkommen. Zum Beispiel hat auch raschwüchsige Japaner-Lärche sehr leichtes Spätholz (Trendelenburg 1939). Im einzelnen bleiben hier noch zahlreiche Fragen zu klären, insbesondere auch über die Einwirkung von Standort und Klima.

4. Das Verhältnis des Raumgewichts von Früh- zu Spätholz liegt bei den 4 Holzarten zwischen 1 : 2,1 und 1 : 2,6 (bei Einzelproben liegen die Grenzwerte einzelner Jahrringe natürlich weit mehr auseinander). Bei Douglasie und Lärche, die sich beide durch sehr deutliche Spätholzbildung auszeichnen, ist es am höchsten; hier ist also der Unterschied im Gewicht von Früh- und Spätholz am größten. Beim Raumgewicht (r_0) werden die Verhältniszahlen größer, was auf das Schwindmaß zurückzuführen ist. Sie liegen zwischen 1 : 2,3 und 1 : 3,0. Frühere Einzeluntersuchungen haben ähnliche Werte ergeben (Raumdichtezahl 1 : 2,1 bis 1 : 2,7, Raumgewicht 1 : 2,1 bis 1 : 2,8). Die einzelnen Nadelhölzer verhalten sich also verschieden; das Spätholz ist aber immer mindestens doppelt so schwer wie das Frühholz.

Aus der obenerwähnten Arbeit von Paul (1939) wurde Zahlentafel 4 entnommen und das Verhältnis der Raumdichtezahl von Früh- zu Spätholz berechnet:

Zahlentafel 4. Raumdichtezahlen von Früh- und Spätholz bei nordamerikanischen Kiefernarten (nach B. H. Paul).

Holzart	Raumdichtezahl (g/cm³)		
	Frühholz	Spätholz	Verhältnis
Pinus caribaea . .	0,275	0,570	1 : 2,1
P. echinata . . .	0,265	0,600	1 : 2,3
P. taeda	0,310	0,625	1 : 2,0
P. palustris . . .	0,280	0,690	1 : 2,5

Die Kiefern passen also gut in den hier gezeigten Rahmen; sie sind wegen des jungen Alters nicht voll vergleichsfähig.

5. Im Frühholzgewicht unterscheiden sich unsere Holzarten viel weniger als im Spätholzgewicht. Zu den durch die Schwankungen im Spätholzanteil verursachten Gewichtsverschiedenheiten kommen also noch die durch den Spätholzbau hervorgerufenen dazu.

c) Bedeutung des Gewichts von Früh- und Spätholz für die Beziehungen zwischen Spätholzanteil und Raumgewicht des Holzes.

Aus dem Verlauf der Ausgleichlinien, die sich ziehen lassen, wenn man die Raumgewichte oder Raumdichte-

[1] In der nach Abschluß dieser Arbeit erschienenen Veröffentlichung von B. H. Paul über die Raumdichtezahl und das Raumgewicht von Früh- und Spätholz verschiedener Kiefernarten werden Häufigkeitskurven gezeigt, die sich zum Teil stark überschneiden; dies wird darauf zurückzuführen sein, daß es sich um Bestimmungen aus ganzer Stammlänge sehr junger Kiefern handelt.

zahlen zahlreicher Holzproben gegen ihren Spätholzanteil aufträgt, hat Trendelenburg (1939) auf das Raumgewicht von Früh- und Spätholz geschlossen, indem er die Linien bis zum Schnitt bei 0 bzw. 100 % Spätholz verlängerte.

Umgekehrt bieten die Zahlen dieser Untersuchung die Möglichkeit, die Punkte des Raumgewichtes von Früh- und Spätholz zu verbinden und dann auf das Raumgewicht von Holz verschiedener Spätholzanteile zu schließen (Bild 7).

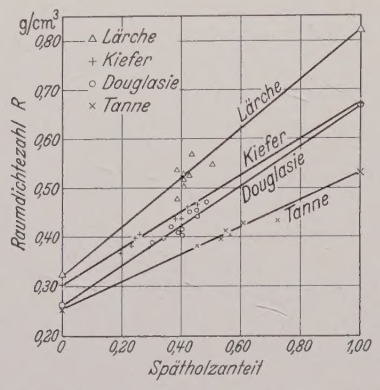

Bild 7. Zusammenhang zwischen Raumdichtezahl und Spätholzanteil.

Die Linien der einzelnen Holzarten liegen verschieden. Als Beweis, daß sich auf diese Weise ein richtiger Anhalt für das Raumgewicht von Holz bekannten Spätholzanteiles gewinnen läßt, sind Einzelmessungen an den kleinen Holzproben eingezeichnet. Die Übereinstimmung ist bei der unverkernten Tanne ausgezeichnet, bei den anderen Holzarten gut oder zum mindesten befriedigend.

In diesem Zusammenhang sei auch darauf hingewiesen, daß sich nach Einzelstandorten große Unterschiede in den zu einem bestimmten Spätholzanteil gehörigen Raumgewichten ergeben. Im Gebirge wird im allgemeinen unter gleichen Verhältnissen leichteres Holz erzeugt als in der Ebene. Da die Linien bei einer und derselben Holzart häufig parallel verlaufen, ist auf eine gleichlaufende Veränderung im Gewicht von Früh- und Spätholz zu schließen.

3. Porenraum und Wandraum von Früh- und Spätholz.

Die Raumdichtezahlen wurden auch dazu verwendet, den Wandraum im frischen Holz zu berechnen. Da es in erster Linie darauf ankam, Werte dafür zu bekommen, wieviel Raum im frischen Holz noch für Wasser und Luft verfügbar ist, wurde der feuchte Wandraum ermittelt (Zahlentafel 5). Dieser ergibt sich nach Trendelenburg (1939) durch Teilung der höchstmöglichen Raumdichtezahl R_{max} in die Raumdichtezahl des betreffenden Holzes. Bei Frühholz ist mit $R_{max} = 0{,}993$ g/cm³ ($\alpha_v = 34 \cdot R$) zu rechnen, bei Spätholz mit $R_{max} = 1{,}056$ g/cm³ ($\alpha_v = 28 \cdot R$), unter Annahme eines spezifischen Gewichts der Holzsubstanz von 1,5 g/cm³.

Zahlentafel 5.
Poren- und Wandraum des frischen Holzes.

Holzart	Frühholz		Spätholz	
	Holzmasse %	Poren %	Holzmasse %	Poren %
Douglasie . .	26,0	74,0	62,4	37,6
Kiefer . . .	30,8	69,2	63,8	36,2
Lärche . . .	36,1	63,9	77,8	22,2
Tanne . . .	25,6	74,4	50,6	49,4

Im Frühholz sind also bei unseren Nadelhölzern 60 bis über 70 % Porenraum, der zunächst von freiem Wasser und später auch von Luft angefüllt ist. Im Spätholz beträgt der Porenraum im frischen Holz rund 20 bis 50 %. Bei der schwersten Spätholzprobe wurde im Splintholz der Lärche der Wert 0,853 g/cm³ bestimmt; dies ergibt einen Porenraum von nur 19 % im frischen Holz, der für die Lebenstätigkeit des Holzes noch ausgereicht haben muß. Im Kernholz wird das Gewicht durch die Stoffeinlagerungen und Umwandlungen oft größer; hier errechnen sich noch kleinere Porenräume.

4. Schwindmaß von Früh- und Spätholz und sein Zusammenhang mit der Raumdichtezahl.

a) Allgemein.

Schon lange kennt man das ungleiche Quellen und Schwinden des Holzes in den verschiedenen Richtungen zur Stammachse; tangential ist die Größenänderung am größten, meist etwa doppelt so groß wie radial, beide übertreffen aber die Änderung längs der Faser bei weitem.

Bei normalem Holz beträgt das Längsschwindmaß nur wenige Zehntel eines Prozents. R. Hartig begann in seiner letzten, im Jahre 1901 erschienenen Arbeit über den Einfluß von Schwerkraft, Druck und Zug auf den Bau des Fichtenholzes und die Gestalt der Fichte planmäßig Licht in die verwickelten Verhältnisse zu bringen. Er fand, daß Rotholz im Vergleich zu normalem Holz in der Längsrichtung sehr stark schwindet (über 1 %), während sich das Zugholz beim Schwinden nur um 0,09 % verkürzt. Noch auffallender ist das Verhalten beim Wiederbefeuchten der Proben: Während die Rotholzproben sich um etwa denselben Betrag wieder ausdehnten (quollen), trat bei den Zugholzstäben sogar eine schwache Verkürzung (0,04 %) ein, vergleichbar der Verkürzung eines angefeuchteten Seiles. Koehler (1931) konnte diese Befunde bestätigen und feststellen, daß Frühholz in der Längsrichtung mehr schwindet als Spätholz; einzelne Spätholzproben verlängerten sich sogar beim Trocknen und verkürzten sich beim Quellen, was dem oben geschilderten Verhalten des Zugholzes entspricht. Dieses Verhalten des Holzes beim Quellen und Schwinden läßt sich aus seinem Micellbau befriedigend erklären; näheres hierüber ist der Abhandlung von Münch (1938) über die Spiralstruktur der Zellwand und den Ausführungen von Kollmann (1936) zu entnehmen.

Weniger geklärt sind die Unterschiede im Schwind- und Quellmaß des Holzes tangential und radial zur Faser. Nächstliegend ist es, den Einfluß der Markstrahlen zu nennen, die sich in ihrer eigenen Längsrichtung beim Schwinden nicht verkürzen und so das Holz an der Zusammenziehung in radialer Richtung hindern. Diese Ansicht konnte von Clarke (1930) dadurch bestärkt werden, daß er Markstrahlen aus dem Holz löste und ihr Verhalten bei ungestörtem Schwinden bestimmte. Freilich lassen sich dadurch die Eigenschaften zahlreicher Hölzer nicht erklären. Man denke nur daran, daß beim Lindenholz mit schmalen spärlichen Markstrahlen das radiale Schwindmaß das tangentiale fast erreicht, während bei dem ähnlich gebauten Weidenholz das tangentiale Schwindmaß fast dreimal so groß ist wie das radiale (hierzu vgl. Trendelenburg, 1939).

Ähnliches gilt für die Auffassung von Mörath (1932), der in der Verzerrung des lockeren Frühholzes den Hauptgrund für das geringere Schwindmaß in radialer Richtung sieht (hierzu auch Clarke, 1930). Beiser suchte — ähnlich wie Clarke — die Verhältnisse durch Untersuchungen an Mikrotomschnitten und an Hirnflächen von Holz in auffallendem Licht zu klären; doch zeigten sich hier große Schwierigkeiten im Verfahren.

Vorliegende Arbeit soll einen weiteren Beitrag zur Lösung dieser Frage bringen; die Nadelhölzer mit ihrer klaren

Scheidung zwischen Früh- und Spätholz schienen hierfür besonders geeignet. Hierbei werden nicht nur die absoluten Werte des Schwindmaßes untersucht, sondern auch die Beziehungen zur Raumdichtezahl, da das Schwindmaß von Holz allgemein gleich dem Anteil an gebundenem Wasser ist und dieser Anteil wieder von der Raumdichtezahl abhängt.

Zahlentafel 6. Raumdichtezahl und tangentiales, radiales sowie räumliches Schwindmaß von Früh- und Spätholz.

	Holzart	Holzteile	Raumdichtezahl R g/cm³	Schwindmaß % α_t	α_r	α_v	$\frac{\alpha_t}{\alpha_r}$	Verhältnis $\frac{\alpha_v \text{ Spätholz}}{\alpha_v \text{ Frühholz}}$
1	Douglasie . .	Frühholz	0,258	5,68	2,89	8,77	2,0	2,28
		Spätholz	0,670	10,92	9,85	19,97	1,1	
2	Kiefer	Frühholz	0,306	8,05	2,91	10,86	2,8	1,74
		Spätholz	0,674	11,26	8,22	18,87	1,4	
3	Lärche . . .	Frühholz	0,323	7,11	3,23	10,34	2,2	2,02
		Spätholz	0,822	12,25	10,19	20,96	1,2	
4	Tanne	Frühholz	0,254	5,84	2,41	8,38	2,4	1,75
		Spätholz	0,534	8,81	6,25	14,63	1,4	

b) Schwindmaß in tangentialer, radialer und longitudinaler Richtung sowie im Rauminhalt.

Bereits Hartig hatte erkannt, daß das Schwindmaß von dem Betrag an gebundenem Wasser in der Zellwand abhängt, da die Zellulosemicelle beim Trocknen um den Abstand aneinander rücken, der im frischen Holz von Wasser eingenommen wird. Daraus folgerte er auch, daß schweres Holz mehr schwinden (und auch quellen) muß als leichtes Holz.

Da nun Raumgewicht und Raumdichtezahl von Früh- und Spätholz grundverschieden sind, ist von vornherein anzunehmen, daß die Schwindmaße dieser zwei Arten des Holzes gleichfalls voneinander abweichen.

In Zahlentafel 6 sind die Mittelwerte von α_t und α_r, das Verhältnis beider zueinander sowie α_v (als Durchschnitt aus den zwei Bestimmungsverfahren) aufgeführt.

Aus den Zahlen ergibt sich deutlich das weit höhere Schwindmaß des Spätholzes, und zwar gleichermaßen in radialer und tangentialer Richtung wie im Rauminhalt. Von den untersuchten Holzarten hat Lärche — wie erwähnt — das schwerste Spätholz, entsprechend auch das höchste Schwindmaß ($\alpha_v = 21{,}0\,\%$); das leichte Tannen-Spätholz hat das kleinste Schwindmaß ($\alpha_v = 14{,}6\,\%$). Beim Frühholz hat gleichfalls die Tanne das kleinste Schwindmaß ($\alpha_v = 8{,}4\,\%$), während Lärche (10,3 %) und Kiefer (10,9 %) die höchsten Schwindbeträge aufweisen. Das Verhältnis im Raumschwindmaß von Früh- und Spätholz liegt zwischen 1 : 1,7 (Tanne und Kiefer) auf der einen und 1 : 2,3 (Douglasie) auf der andern Seite.

Hieraus ergibt sich die Folgerung, daß beim Schwinden des Holzes Spannungen auftreten müssen, da ja ein Stück Holz nur ein bestimmtes Schwindmaß (das zwischen dem von Spätholz und dem von Frühholz liegen muß) besitzen kann.

Bemerkenswert ist weiterhin, daß das Verhältnis zwischen α_t und α_r beim Frühholz zwischen 2,0 und 2,8, beim Spätholz aber nur zwischen 1,1 und 1,4 liegt. Beim Spätholz ist also das radiale und tangentiale Schwindmaß sehr wenig verschieden, während im Frühholz das tangentiale Schwindmaß fast bis dreimal so groß ist wie das radiale. Das Spätholz stellt somit, technologisch betrachtet, das bessere Holz dar, da sich nur aus Spätholz bestehende Bretter — wenn es solche gäbe — weit weniger werfen könnten.

Dieser Befund steht in gutem Einklang mit Untersuchungen von Siimes (1938), der feststellte, daß bei Kiefernholz das Verhältnis α_t/α_r mit zunehmendem Raumgewicht und wachsendem Spätholzanteil abnimmt.

Für die Längsschwindung, die sich grundlegend anders verhält, wurde Zahlentafel 7 entworfen.

Die Werte bestätigen die Ergebnisse von Koehler (1931), daß Frühholz in der Längsrichtung erheblich mehr schwindet als Spätholz. Am höchsten ist α_l beim Frühholz von Lärche und Douglasie (0,27 und 0,26 %), am kleinsten beim Spätholz von Kiefer (0,10 %). Dies ist — wie schon kurz gestreift — auf den Micellbau zurückzuführen. Je steiler die Micellspiralen verlaufen, desto kleiner ist die Komponente des Schwindmaßes, die in die Längsrichtung der Faser fällt. Kollmann (1934) benützt die Werte von α_t und α_l zur überschlägigen Berechnung des Micellwinkels, und auch ich habe eine solche Berechnung durchgeführt. Allerdings wurde nicht α_t, sondern das Mittel aus α_t und α_r zu α_l in Beziehung gesetzt, da sich im Holz ein gewisser Ausgleich zwischen α_t und α_r ergeben muß. Die für Früh- und Spätholz berechneten Micellwinkel enthält Zahlentafel 8.

Zahlentafel 7.
Längsschwindmaß von Früh- und Spätholz.

	Holzart	Längsschwindmaß (α_l) Frühholz	Spätholz
1	Douglasie . .	0,26	0,16
2	Kiefer . . .	0,19	0,10
3	Lärche . . .	0,27	0,13
4	Tanne . . .	0,19	0,14
	Druckholz		
5	Lärche . . .	0,75	1,08
6	Tanne . . .	0,33	0,33

Zahlentafel 8. Micellwinkel.

	Douglasie	Kiefer	Lärche	Tanne
Frühholz	86° 39′	88° 02′	86° 59′	82° 28′
Spätholz	89° 04′	89° 22′	89° 23′	88° 54′

Genaue Werte lassen sich auf diese Weise natürlich nicht gewinnen, da jede Wand aus Einzelschichten mit verschiedenem Micellwinkel aufgebaut ist. Hiernach wäre der durchschnittliche Micellwinkel beim Frühholz um einige Grade kleiner als beim Spätholz. Es wird anläßlich der Beziehungen zur Raumdichtezahl hierauf zurückzukommen sein.

Auch Rotholz wurde in einigen Proben untersucht, die allerdings keine sehr ausgeprägte Eigenart zeigten. Die Längsschwindung erreichte trotzdem bis zu 1,08 %. Neu ist das Ergebnis, daß das Spätholz des Rotholzes mehr schwindet als das des Frühholzes, dessen Schwindmaß aber ebenfalls übernormal ist. Für das Rotholz errechneten sich Micellwinkel um 80°. Bei ausgeprägtem Rotholz wurden für diesen Winkel schon viel kleinere Werte bestimmt.

c) Schwindmaß und Raumdichtezahl.

α) Tangential-, Radial- und Raumschwindmaß.

Aus der Untersuchung zahlreicher amerikanischer Laub- und Nadelhölzer erhielten Newlin und Wilson (1919) die durchschnittliche Beziehung $\alpha_v = 28 \cdot R$, die auch als

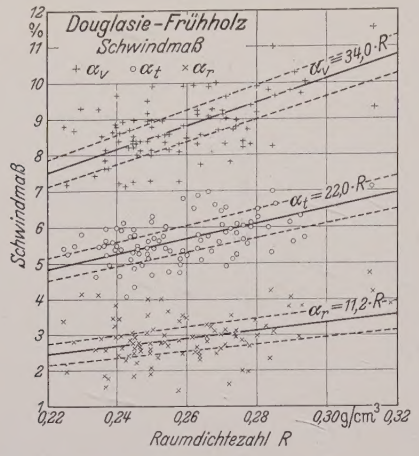

Bild 8. Zusammenhang zwischen Schwindmaß und Raumdichtezahl von Douglasien-Frühholz.

Mittel für die wichtigsten deutschen Hölzer gelten kann. Im Einklang mit Ansichten von Hartig nimmt das Raumschwindmaß also geradlinig mit der Raumdichtezahl zu. Die Zahl 28 stellt den Anteil an gebundenem Wasser in Prozent des Trockengewichtes dar. [Nach Stamm (1935)

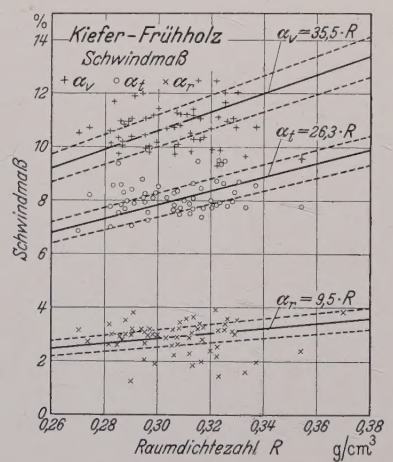

Bild 10. Zusammenhang zwischen Schwindmaß und Raumdichtezahl von Kiefern-Frühholz.

tritt eine gewisse Verdichtung des Wassers ein, so daß die wahre Fasersättigungsfeuchtigkeit etwas höher, bei rund 29%, liegt. Dies vermag aber unsere grundlegenden Betrachtungen nicht zu beeinflussen.] Für α_t und α_r gilt dasselbe, nur daß hier bei den bisherigen Bestimmungen (Newlin-Wilson) entsprechend kleinere Beiwerte gefunden wurden; $\alpha_t = 17{,}0 \cdot R$ und $\alpha_r = 9{,}5 \cdot R$.

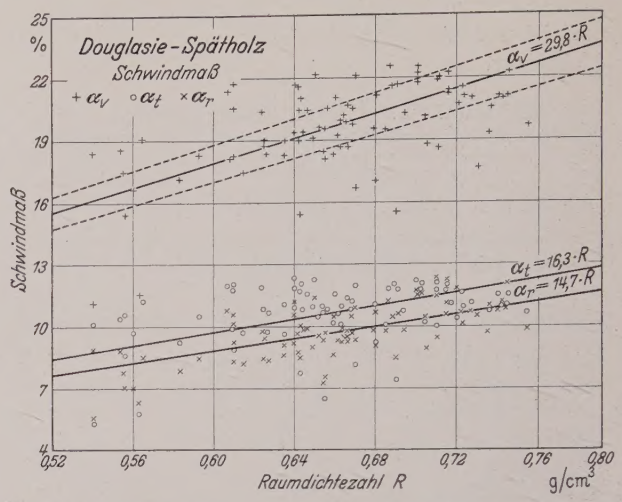

Bild 9. Zusammenhang zwischen Schwindmaß und Raumdichtezahl von Douglasien-Spätholz.

Zunächst war also festzustellen, ob Früh- und Spätholz in gleichem Verhältnis zu ihrer Raumdichtezahl schwinden und ob auch bei ihnen die Schwindung in gleichem Verhältnis zur Raumdichtezahl zunimmt.

Die Bilder 8 bis 13 zeigen zunächst die Einzelpunkte der Schwindmaße (α_t, α_r, α_v), die über den Raumdichtezahlen aufgetragen wurden. Das Streumaß ist im einzelnen recht ungleich und manchmal nicht unbeträchtlich. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß es viele nicht erfaßbare Unter-

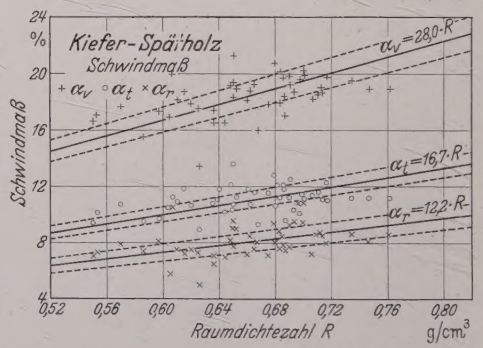

Bild 11. Zusammenhang zwischen Schwindmaß und Raumdichtezahl von Kiefern-Spätholz.

schiede in der Verkernung, im Harzgehalt u. a. gibt und daß es sich um sehr kleine Proben und sehr kleine Schwindbeträge handelt.

Immerhin zeigen die ausgeglichenen Linien deutlich, daß auch beim Früh- und Spätholz das Schwindmaß mit steigender Raumdichtezahl zunimmt. In den Bildern 14 bis 17 wurden die Ausgleichlinien für sich allein noch einmal dargestellt, um den Vergleich von α_t, α_r und α_v bei Früh- und Spätholz zu erleichtern. Zahlentafel 9 zeigt die Beziehungsgleichungen.

Aus den Zahlen ergibt sich zunächst, daß das Schwindmaß des Frühholzes — das ja absolut kleiner als das des Spätholzes ist — im Verhältnis zu dessen Gewicht erheblich größer ist als das des Spätholzes. Während nämlich die Beziehungsgleichungen beim Spätholz zwischen $25{,}5 \cdot R$

Zahlentafel 9.
Zusammenhang zwischen Schwindmaß α und Raumdichtezahl R.

	Holzart	Frühholz				Spätholz			
		α_t	α_r	$\frac{\alpha_t}{\alpha_r}$	α_v	α_t	α_r	$\frac{\alpha_t}{\alpha_r}$	α_v
1	Douglasie . .	22,0 R	11,2 R	2,0	34,0 R	16,3 R	14,7 R	1,1	29,8 R
2	Kiefer . . .	26,3 R	9,5 R	2,8	35,5 R	16,7 R	12,2 R	1,4	28,0 R
3	Lärche . . .	22,0 R	10,0 R	2,2	32,0 R	14,9 R	12,4 R	1,2	25,5 R
4	Tanne . . .	23,0 R	9,5 R	2,4	33,0 R	16,5 R	11,7 R	1,4	27,4 R
	Druckholz[1]								
5	Tanne . . .	22,0 R	6,1 R	3,6	28,6 R	9,3 R	7,1 R	1,3	16,9 R
6	Lärche . . .	18,8 R	9,4 R	2,0	28,4 R	8,1 R	7,2 R	1,1	15,6 R

[1] Während für das normale Holz die Beziehungsgleichungen aus dem zeichnerischen Ausgleich der Einzelpunkte gewonnen wurden, mußten beim Rotholz wegen der kleineren Probenzahl (je 5 bis 7 Stück) arithmetische Mittelwerte angegeben werden.

und $29{,}8 \cdot R$ liegen, also sich in der Gegend des Wertes $\alpha_v = 28 \cdot R$ bewegen, sind sie beim Frühholz viel größer, zwischen $32{,}0 \cdot R$ und $35{,}5 \cdot R$.

Vom Verhältnis $\alpha_t : \alpha_r$ war bereits die Rede; bemerkenswert ist aber, daß das Verhältnis des tangentialen und radialen Schwindmaßes bei Früh- und Spätholz ganz verschieden ist; während im Frühholz die Schwindung tangential besonders groß ist, ist sie radial verhältnismäßig klein, in Beziehung zum Gewicht sogar kleiner als beim Spätholz (Bild 14 bis 17). Beim Frühholz ist zwischen α_t und α_r ein sehr großer, beim Spätholz ein sehr kleiner Unterschied. Zwischen den einzelnen Holzarten besteht keine eindeutige Abstufung.

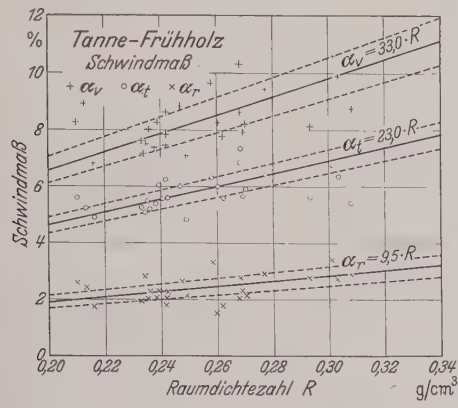

Bild 12. Zusammenhang zwischen Schwindmaß und Raumdichtezahl von Tannen-Frühholz.

beim Frühholz ist der Unterschied aber nicht so groß wie beim Spätholz. Als Beispiel sei Tannenholz angeführt:

Frühholz . .	normales Holz	$\alpha_v = 33{,}0 \cdot R$
	Rotholz	$\alpha_v = 28{,}6 \cdot R$
Spätholz . .	normales Holz	$\alpha_v = 27{,}4 \cdot R$
	Rotholz	$\alpha_v = 16{,}9 \cdot R$

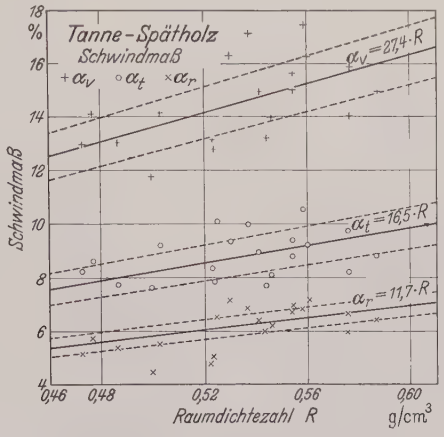

Bild 13. Zusammenhang zwischen Schwindmaß und Raumdichtezahl von Tannen-Spätholz.

β) Längsschwindmaß.

Es wurde eingangs erwähnt, daß das Schwindmaß von Früh- und Spätholz in der Längsrichtung bereits mehrfach bestimmt wurde. Die zahlreichen Messungen boten nun die Möglichkeit, die Schwindzahlen in Abhängigkeit von der Raumdichtezahl zu verfolgen. Bei den an sich

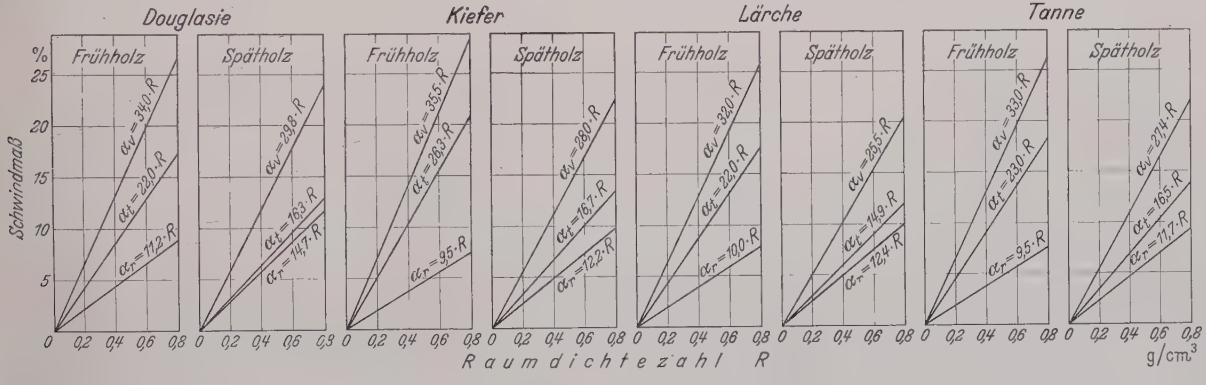

Bild 14. Bild 15. Bild 16. Bild 17.

Bild 14 bis 17. Beziehungsgleichungen zwischen Schwindmaß und Raumdichtezahl.

Beim Rotholz von Tanne und Lärche wurden ähnliche Beziehungen ermittelt. Wie aus der Zahlentafel 9 ersichtlich ist, schwindet Spätholz — wie normales Holz — im Verhältnis zum Gewicht weniger als Frühholz. Der Unterschied der Schwindung von Früh- und Spätholz ist allerdings sehr viel größer, was auf das auffallend geringe Schwindmaß des letzteren zurückzuführen ist. (Es hat den Anschein, als ob bei solchen Rotholzringen, die noch deutliches Frühholz enthalten — wie sie in stehenden Bäumen sehr häufig sind und auch in vorliegender Arbeit untersucht wurden — die Gefügeveränderung in erster Linie auf das Spätholz beschränkt sei. Dies ist nach den Auffassungen von Münch über das Rotholz verständlich, da das Spätholz allein die Aufgabe der Aufrichtung des Stammes übernehmen kann.)

Weiter ist das tangentiale Schwindmaß des Frühholzes im Verhältnis zum Gewicht größer als das des Spätholzes; das radiale ist beim Tannenholz im Frühholz kleiner als im Spätholz (wie bei normalem Holz). Das Lärchenholz bildet hier eine Ausnahme, doch sind die Abweichungen nicht groß. Das Verhältnis von tangentialem zu radialem Schwindmaß ist bei Rotholz gleich oder ähnlich wie bei normalem Holz (Frühholz 2,0 ... 3,6, bei Spätholz 1,1 ... 1,3).

Das Schwindmaß von Rotholz ist im Verhältnis zum Gewicht — wie bereits bekannt — kleiner als beim normalen Holz; geringen Beträgen der Schwindung und der kurzen Probenlänge ist eine ziemlich starke Streuung der Versuchswerte nicht verwunderlich (Bild 18).

Beim Frühholz nimmt das Schwindmaß mit steigendem Raumgewicht nicht unerheblich ab; es läßt sich die empirische Gleichung aufstellen $\alpha_l = 1{,}21 - 3{,}56 \cdot R$.

Beim Spätholz zeigt schon das Streufeld der Punkte deutlich die kleineren Schwindmaße, der Verlauf der Ausgleichlinie ($\alpha_l = 1{,}65 - 2{,}25 \cdot R$) ist aber insofern ähnlich wie beim Frühholz, als mit steigendem Raumgewicht das Längsschwindmaß ebenfalls abnimmt. Die Neigung der Linie ist aber — bei Verwendung desselben Koordinatennetzes — weniger steil, d. h. beim Spätholz fällt das Längsschwindmaß mit zunehmender Raumdichtezahl weniger stark ab als beim Frühholz.

Aus dieser Abnahme des Schwindmaßes geht einwandfrei hervor, daß beim Früh-, wie beim Spätholz höherem Raumgewicht steiler verlaufende Micellspiralen zugeordnet sein müssen.

γ) Besprechung der Ergebnisse.

Besonders auffallend ist das im Verhältnis zur Raumdichtezahl verschiedene Schwindmaß von Früh- und Spätholz. Wenn es richtig ist, daß das Schwindmaß dem Anteil an gebundenem Wasser entspricht, so muß Frühholz einen höheren Anteil daran (bezogen auf das Holzgewicht) enthalten als Spätholz.

100 g gewöhnlichen Tannen-Frühholzes müßten entsprechend der Beziehung $\alpha_v = 33{,}0 \cdot R$ mindestens 33,0 cm³ gebundenes Wasser enthalten, 100 g Spätholz aber nur 27,4 cm³. Beim Rotholz müßten danach die Unterschiede größer sein; im Frühholz 28,6 cm³ gebundenes Wasser, im Spätholz nur 16,9 cm³ je 100 g trockenen Holzes.

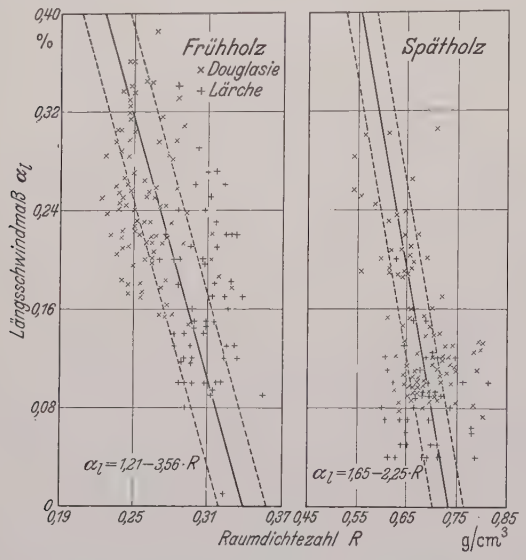

Bild 18. Längsschwindmaß von Früh- und Spätholz bei Lärche und Douglasie in Abhängigkeit von der Raumdichtezahl.

Dies läßt sich auf zweierlei Weise erklären:

1. Angenommen, die obige Voraussetzung ist richtig, so muß die Fasersättigungsfeuchtigkeit, d. h. das hygroskopische Verhalten, von Früh- und Spätholz verschieden sein. Abweichungen in der chemischen Zusammensetzung des Holzes könnten die Ursache sein, vor allem Unterschiede im Gehalt an Zellulose und Lignin, da die Zellulose auf Grund ihres Feinbaues in erster Linie für die Schwindung verantwortlich zu machen ist.

Nun enthält aber Frühholz, wie anfangs erwähnt, auf das Gewicht bezogen mehr Lignin, also weniger Zellulose und Zellulosebegleiter als Spätholz. Die Unterschiede im Schwindmaß können also nicht auf die chemische Zusammensetzung von Früh- und Spätholz zurückgeführt werden.

Möglich wäre dagegen, daß in der dicken Mittelschicht der Verdickungswand die Zellulosemicelle bei der Verholzung in verstärkter Weise an dem späteren Zusammenrücken gehindert werden als in den anderen Wandschichten, doch läßt sich diese Frage nach dem derzeitigen Stand unserer Kenntnisse nicht entscheiden.

2. Wahrscheinlicher ist eine zweite Deutung: Die Anschauung, daß das gebundene Wasser als Maß für die Schwindung gelten kann, trifft danach zwar für das Holz als Ganzes weitgehend zu, hat aber bei dem aus dem Holz herausgelösten Früh- und Spätholz keine Gültigkeit mehr.

In diesem Fall ist zumal beim Spätholz mit seinen dicken, aus mehreren Schichten bestehenden Zellwänden eine innere Schwindung anzunehmen; nur wenn nämlich der Zellhohlraum der Zellen beim Schwinden gleich groß bleibt, kann sich der gesamte Schwindbetrag der Zellwände voll in den äußeren Abmessungen des Holzkörpers auswirken. Nun hat schon Hartig (1896) die geringe Schwindung des Rotholzes in der Querrichtung auf das Schwinden der Lamellen im Innern der Tracheiden zurückgeführt. Später zeigte Clarke (1930), daß die inneren Schichten von Sklerenchymfasern stärker schwinden als die äußeren und daß der Hohlraum der Fasern beim Schwinden etwas größer wird. In der Folge hat Mörath ähnliche Ansichten ausgesprochen.

Wir können uns danach vorstellen, daß das im Verhältnis zum Gewicht kleinere Raumschwindmaß von Spätholz auf eine innere Schwindung zurückzuführen ist. Beim Rotholz ist diese Erscheinung besonders ausgeprägt. Das Frühholz von normalem Holz hingegen hat keine dicken Wandschichten; hier wird das äußere Schwindmaß dem tatsächlichen weitgehend entsprechen und die Zellhohlräume werden beim Trocknen gleich groß bleiben.

Weiter ist auch der Unterschied von α_t und α_r zu besprechen. Wie kürzlich Trendelenburg (1939) ausführte, befriedigen die bisherigen Erklärungen nicht restlos; die Verschiedenheit der Micellrichtung auf der radialen und tangentialen Tracheidenwand ist noch mit heranzuziehen.

Wie nämlich Bailey und Vestal (1937) zeigten, steigen die Micellspiralen auf der tangentialen Wand steiler an als auf der radialen; es ergibt sich somit auf der ersteren eine größere seitliche Komponente des Schwindmaßes als auf der letzteren, d. h. das Tangentialschwindmaß der Einzelzelle und damit auch des Holzes muß größer sein als das radiale. Weiterhin weist Trendelenburg darauf hin, daß beim Frühholz die Ableitung der Micellspiralen durch die Tüpfel besonders stark und darum ein größerer Unterschied zwischen α_t und α_r zu erwarten ist.

Die vorliegende Arbeit hat hier weitere Klarheit geschaffen: Beim Frühholz ist der Unterschied zwischen α_t und α_r besonders groß, während beim Spätholz das radiale Schwindmaß dem tangentialen fast gleichkommt. Die Spätholztracheiden haben an sich viel steilere Micellspiralen; diese werden durch die schmalen spaltenförmigen Tüpfel, die in der Micellrichtung liegen, auf der radialen Wand weniger oder nicht aus ihrer Richtung abgelenkt. Zudem sind die Tüpfel spärlich vorhanden. Im Frühholz müssen die Micellspiralen um die Tüpfel herumlaufen. Außerdem verringern die Tüpfel wohl auch an sich das radiale Schwindmaß in gewissem Grad.

Nicht von der Hand zu weisen ist daneben ein gewisser Einfluß der Markstrahlen (den Clarke bei Laubhölzern auch nachgewiesen hat). Er könnte für den geringen Unterschied im radialen und tangentialen Schwindmaß beim Spätholz verantwortlich gemacht werden (Einzelproben zeigten übrigens häufig genau gleich große Werte von α_t und α_r beim Spätholz!).

Im herausgespaltenen Frühholz können sich die Markstrahlen stärker auswirken als im Spätholz, da im Spätholz eine große Holzmasse einer kleinen Markstrahlmasse gegenübersteht, während im Frühholz anteilmäßig die Markstrahlen in gleicher Masse, das Holz aber in viel schwächerer Ausbildung vertreten ist.

Die Ausführungen über das Längsschwindmaß haben gleichfalls gezeigt, daß enge Beziehungen zwischen Micellbau und Schwindmaß bestehen. Es ist also naheliegend, im Micellbau auch die Hauptursache für die Verschiedenheit von radialem und tangentialem Schwindmaß zu suchen.

5. Vergleich des Schwindmaßes von Früh- und Spätholz mit dem Verhalten im ganzen unzertrennten Holzstück[1].

Da Früh- und Spätholz fest miteinander verwachsen sind, müssen sie in einem größeren Holzstück in tangentialer Richtung miteinander schwinden. Bei kleineren Proben, wie bei den von mir untersuchten, sieht man nach dem Trocknen bei 100° C auf der radialen Fläche eine deutliche Wellung, d. h. die Spätholzbänder sind etwas mehr geschwunden als die Frühholzbänder; letztere stehen deutlich vor. An der Jahrringgrenze erfolgt ein scharfer Abfall zum Spätholz. Ein Teil des Schwindunterschiedes muß sich (zumal auch bei größeren Proben) als innere Spannung im Holz auswirken. Besonders deutlich zeigt sich diese wellige Oberfläche bei Proben mit deutlich abgesetztem Spätholz und scharfem Übergang zwischen Früh- und Spätholz.

Das Schwindmaß des ganzen Holzkörpers in tangentialer Richtung liegt zwischen dem Schwindmaß von reinem Frühholz und dem von reinem Spätholz, und zwar liegt es meist etwas über dem arithmetischen Mittel aus den Schwindmaßen von Früh- und Spätholz (bei einem

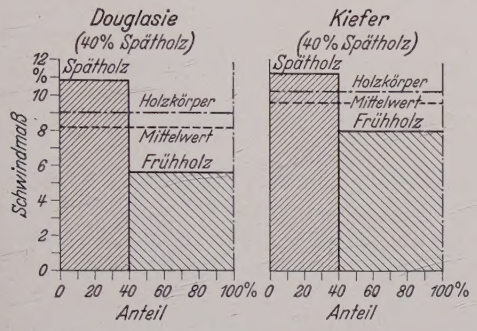

Bild 19. Tangentiale Schwindung von Spätholz, Frühholz und vom ganzen Holzkörper bei Douglasie und Kiefer.

Spätholzanteil von rund 40 %, Bild 19); daraus geht hervor, daß das Spätholz für das Schwindmaß in tangentialer Richtung besonders wichtig ist. Das Frühholz muß im Holz unter einem gewissen Druck stehen, der das Spätholz am Schwinden in vollem Ausmaß hindert. Risse treten nicht auf, da der Übergang im Zellgefüge nie genau in eine Ebene fällt und nie sprunghaft vor sich geht, und da die Markstrahlen eine gute zugfeste Verbindung zwischen beiden Teilen darstellen. Bei der Messung des radialen Schwindmaßes war die Streuung der Werte nicht unerheblich; im Durchschnitt aller Ergebnisse war die radiale Schwindung der getrennten Einzelproben etwas größer als die Schwindung im ganzen Holzstück. Es sei dahingestellt, ob sich dies bei weiteren Untersuchungen bestätigt; es ließe sich auf die Tatsache zurückführen, daß das Frühholz durch das Schwinden des Spätholzes in tangentialer Richtung unter einem gewissen Druck steht.

In Zahlentafel 10 ist eine Reihe von Meßwerten der radialen Schwindung von Früh- und Spätholz (in unzertrenntem Zustand) aufgeführt. Daneben ist das tangentiale Schwindmaß der ganzen Probe verzeichnet (also der praktische Mittelwert aus α_t von Früh- und Spätholz, so wie er sich im ganzen Holzstück ergibt). Dieses α_t ist etwas kleiner als α_t von Spätholz, da ja das Frühholz hindernd wirkt. Radial ist nun — wie schon mitgeteilt — das Schwindmaß des Frühholzes sehr klein, und zwar auch dann, wenn das Frühholz getrennt untersucht wurde.

[1] Die folgenden Ausführungen gelten nur für Nadelhölzer; bei den Laubhölzern kommen überraschend große Unterschiede vor. Linde z. B. ist ein Holz mit sehr gleichmäßigem Schwindmaß in radialer und tangentialer Richtung, im Gegensatz zu anderen, ähnlich gebauten Hölzern.

Zahlentafel 10. Schwindmaß von Früh- und Spätholz im ganzen Stück und Schwindmaß des gleichen Holzstückes im ganzen.

	Holzart	Probe Nr.	Art des Holzes	Zahl der Jahrringe	Radiales Schwindmaß[1] Frühholz %	Radiales Schwindmaß[1] Spätholz %	Ganzes Holzstück α_t %	Ganzes Holzstück α_r %
1	Douglasie	I	Splint	6	2,6	10,0	8,4	5,9
		II	,,	7	2,9	9,5	8,8	5,7
		III	,,	9	2,7	9,7	9,4	6,0
		V	,,	8	2,5	10,2	9,1	5,9
		VI	Kern	6	3,0	8,6	7,0	4,8
		VII	,,	6	2,9	8,6	7,8	4,8
		VIII	,,	8	2,6	7,2	6,7	4,4
		I′	Splint	7	3,1	9,8	9,2	5,2
		II′	,,	8	3,1	9,6	9,5	5,5
		III′	Kern	4	2,5	8,5	7,6	4,6
		IV′	,,	5	2,3	7,4	7,1	4,4
2	Kiefer . .	I	Splint	10	2,6	8,6	10,5	5,4
		III	,,	6	1,8	8,4	9,4	3,8
		IV	Kern	4	2,0	8,7	9,6	4,3
		VI	,,	3	2,5	7,4	9,0	3,4
		VII	,,	4	2,3	8,8	10,0	4,1
		I′	Splint	6	1,7	9,9	10,2	4,7
		II′	Kern	6	2,3	8,2	8,5	3,7
3	Lärche .	I	Splint	5	1,6	9,2	10,3	4,8
		II	,,	8	2,6	9,5	10,8	5,4
		III	Kern	6	2,0	8,1	10,0	3,9
		IV	,,	8	2,6	9,8	11,3	5,1
4	Tanne . .	I	Splint	6	2,2	6,1	8,1	4,4
		II	,,	6	2,3	5,1	7,6	4,1
		III	,,	6	2,5	4,8	7,7	4,0

Da sich in dieser Richtung zudem das kleine Schwindmaß des Frühholzes im Holz ungehindert auswirken kann, ergibt sich für das ganze Holzstück das im Verhältnis zum tangentialen niedrige radiale Schwindmaß. Die radiale Schwindung läßt sich genau berechnen, wenn man die Schwindmaße der Einzelproben von Früh- und Spätholz im Verhältnis des Früh- bzw. Spätholzanteils berechnet und zusammenzählt.

Das verhältnismäßig kleine radiale Schwindmaß eines ganzen Holzstückes ist also nicht etwa auf Spannungsverhältnisse im Holz zurückzuführen, da man im aufgespaltenen Zustand fast genau dieselben Schwindmaße bestimmen kann. Wenn kleine Spannungen auftreten (wegen der tangentialen Schwindung), so sind sie auf jeden Fall nicht maßgebend für die großen tatsächlichen Unterschiede.

6. Feuchtigkeitsuntersuchungen an Früh- und Spätholz.

In Verbindung mit den Untersuchungen über die Schwindung wurde der Feuchtigkeitsgehalt von Früh- und Spätholz bei Kiefer bestimmt. Die verwendete Kiefer wurde Anfang September 1938 gefällt; aus ihr wurde eine Scheibe 2,30 m über dem Erdboden entnommen. In der Ost- und Nordrichtung wurden die Jahrringe herausgespalten und ihre Feuchtigkeit ermittelt. Besondere Vorsichtsmaßregeln verhinderten eine vorzeitige Austrocknung.

Das Frühholz enthält im Splint im Durchschnitt mehr als 200 % Wasser, bezogen auf das Darrgewicht; im Spätholz sind dagegen nur rund 60 % enthalten. Im Kern sind keine Unterschiede zwischen Früh- und Spätholz vorhanden; beide enthalten nur ungefähr 30 % Wasser. Die Mittelwerte des Feuchtigkeitsgehaltes sind in Zahlentafel 11 für die Nord- und Ostseite enthalten.

In Bild 20 wurden die Einzelwerte der Feuchtigkeit im Früh- und Spätholz von Kern zum Splint aufgezeichnet. Im Kern zeigt sich sehr deutlich der völlig gleiche Feuchtig-

[1] Das Schwindmaß von Früh- und Spätholz wurde am ganzen Stück mit Hilfe von Nadeln ermittelt, die an der Grenze von Früh- und Spätholz ins Holz gesteckt wurden.

Zahlentafel 11. Feuchtigkeitsgehalt (u%) von Kiefern-Früh- und -Spätholz im frischen Zustand.

Art des Holzes	Ostseite		Nordseite	
	Splint %	Kern %	Splint %	Kern %
Frühholz . .	219,9	30,2	226,1	30,1
Spätholz . .	58,1	29,4	61,2	29,3

keitsgehalt von Früh- und Spätholz; dies läßt darauf schließen, daß es sich hier wirklich nur noch um das in der Zellwandung gebundene Wasser handelt; die Fasersättigungsfeuchtigkeit beträgt demnach 29% im Spätholz und 30% im Frühholz. Es läßt sich nicht feststellen, ob es sich hier um Unterschiede in der Wasseraufnahmefähigkeit der Zellwandung von Früh- und Spätholz (Harzgehalt, Verholzung, Abstand der Micellspiralen) oder um Reste freien Wassers im Frühholz handelt.

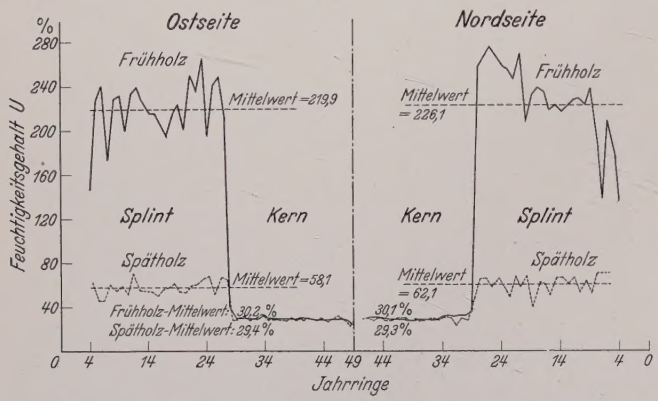

Bild 20. Feuchtigkeitsgehalt von Früh- und Spätholz einer frischen Kiefernscheibe im Splint und Kern.

Klar geht aus Bild 20 ferner hervor, daß der Feuchtigkeitsanstieg vom Kern zum Splint nicht etwa allmählich, sondern plötzlich erfolgt. Es muß sich bei der Verkernung also um sehr scharfe Änderungen handeln, die den Feuchtigkeitsabfall von 210% auf 30% im Frühholz verursachen.

Weiterhin fällt auf, daß der Wassergehalt im inneren Splint deutlich höher ist als im äußeren Splint. Es zeigte sich, daß die Jahrringe, wie Bild 1 zeigt, im inneren Splint (Probe 3) sehr viel breiter sind als im äußeren. Entsprechend ist das Holzgewicht innen kleiner als außen. Zahlentafel 12 gibt die Werte von Raumdichtezahl, Wassergehalt, Anteil von Holz, Wasser und Luft für die 3 Proben der Ostseite im Stamm an (Bild 1).

Zahlentafel 12. Raumdichtezahl, Wasser-, Holz- und Luftgehalt von frischem Kiefernholz (aus 2,2 m Höhe).

Probe	Art des Holzes		Raumdichtezahl R g/cm³	Wassergehalt u %	Raumanteil des frischen Holzes		
					Holz %	Wasser %	Luft %
	Splint						
1	außen	Frühholz	0,324	206,0	21,6	67,0	11,4
		Spätholz	0,736	58,0	49,0	42,5	8,5
2	Mitte	Frühholz	0,314	221,0	21,0	69,0	10,0
		Spätholz	0,739	57,0	49,3	42,0	8,7
3	innen	Frühholz	0,296	244,0	19,8	72,0	8,2
		Spätholz	0,660	61,0	44,0	40,5	15,5
4	Kern	Frühholz	0,307	30,1	20,5	9,2	70,3
		Spätholz	0,635	29,4	42,4	18,6	39,0

Der erhebliche Unterschied im Feuchtigkeitsgehalt des Splint-Frühholzes verschwindet weitgehend, wenn man den Raumanteil des Wassers am Frischvolumen betrachtet; allerdings zeigt auch er eine kleine Zunahme von 67 auf 69 und 72%, die aber sehr viel kleiner ist als der Unterschied der Feuchtigkeitsgehalte (u%) 206 bzw. 221 und 244%. Beim Spätholz ergibt sich eine leichte Abnahme (42,5 auf 40,5% des Frischvolumens), während der Feuchtigkeitsgehalt (u%) von 58 auf 61% zunimmt. Die Beziehung der Feuchtigkeit auf das Holzvolumen ist, wie sich hieraus ergibt, allgemein dann vorzuziehen, wenn große Unterschiede im Raumgewicht vorkommen.

Diese Zahlen geben auch den weiteren Aufschluß, daß im Spätholz der Luftanteil im äußeren Splint kleiner ist als im Frühholz, während er im inneren Splint den des Frühholzes fast um das Doppelte übersteigt.

Die Zahlen für Raumdichtezahl von Früh- und Spätholz können so dazu dienen, den Wasser- und Luftanteil zu berechnen und seine Verteilung im Holz zu ermitteln.

III. Zusammenfassung.

1. Zur Bestimmung des Raumgewichtes von Früh- und Spätholz wurde ein genaues Verfahren angegeben. Ferner wurden Meßverfahren und Fehlerquellen bei der Längen- und Dickenmessung kleiner Holzproben besprochen.

2. Raumgewicht und Raumdichtezahl von Früh- und Spätholz wurden an einer großen Zahl von Proben bestimmt; die Werte sind in Häufigkeitskurven dargestellt. Die Beziehung zu den Ergebnissen von Raumgewichts- und Spätholzuntersuchungen wurden besprochen, außerdem die Werte von Wand- und Porenraum für Früh- und Spätholz angegeben.

3. Das Schwindmaß von Früh- und Spätholz wurde eingehend untersucht — sowohl in den 3 Richtungen des Raumes wie im Volumen. Es wurde in absoluten Werten sowie in seiner Abhängigkeit vom Raumgewicht der entsprechenden Proben behandelt. Hierbei zeigte es sich, daß das Spätholz absolut in tangentialer Richtung und im Volumen zwar weit mehr als Frühholz schwindet, im Verhältnis zu seinem Gewicht aber weniger. Das Längsschwindmaß des Frühholzes ist höher als das des Spätholzes. Bei Früh- und Spätholz nimmt das Längenschwindmaß mit zunehmendem Raumgewicht ab.

Von den weiteren Ergebnissen ist insbesondere hervorzuheben, daß das Spätholz radial fast genau soviel wie tangential schwindet, während das Frühholz tangential 2- bis fast 3mal so stark schwindet wie radial.

4. Es werden Erklärungsmöglichkeiten für das verschiedene Raumschwindmaß von Früh- und Spätholz (im Verhältnis zum Raumgewicht) gegeben.

5. An unzerlegten Proben und an den Einzelteilen aus entsprechenden Stücken wurden Vergleichsbestimmungen durchgeführt; diese zeigten, daß die tangentiale Schwindung von ganzen Proben etwas kleiner als die tangentiale Schwindung von Spätholz, aber größer als die tangentiale von Frühholz ist. Beim Schwinden wird Frühholz somit unter Druck, Spätholz unter Zug gesetzt. In radialer Richtung hingegen kann sich Frühholz so wenig zusammenziehen, wie es seinem Gefüge entspricht. Da Frühholz mit über 60 bis 80% im Holz immer überwiegt, da ferner das radiale Schwindmaß von Frühholz von Natur besonders klein ist, ergibt sich, daß Nadelholz in radialer Richtung weit weniger schwinden muß als in tangentialer; das Holz wird also nicht etwa durch irgendwelche innere Spannungen daran gehindert, in radialer Richtung stärker zu schwinden.

Schriftenverzeichnis.

Bailey, I. W.-M. R. Vestal, J. Arnold Arbor. Bd. 18 (1937) S. 185. — Beiser, W., Kolloid-Z. Bd. 65 (1933) S. 203. — Brown, H. P., und A. J. Panshin, M. Seeger, R. Trendelenburg, Das Holz der forstlich wichtigsten Bäume Mitteleuropas. Hannover 1932. — Clarke, S. H., Forestry Bd. 4 (1930) S. 93. — Gouwentak, C. A., Mededeel. v. d. Land-

bouwhoogeschool Bd. 40 (1936) Teil 3 S. 1. — Greenhill, W. L., The shrinkage of Australian timbers. Part. I. A new method of determining shrinkages figures for a number of Australian species. Melbourne 1936. — Hartig, R., Forstl.-Naturwiss. Z. 1896 S. 96 — Holzuntersuchungen. Altes und Neues. Berlin 1901. — Koehler, A., Trans. Amer. Soc. mech. Engrs. (1931). — Kollmann, F., Z. Forst- u. Jagdw. Bd. 67 (1935) S. 75 — Technologie des Holzes. Berlin 1936. — Markwardt, L. J., und T. R. C. Wilson, Strength and related properties of woods grown in the United States. Techn. Bull. Nr. 479, U.S.D.A., Washington 1935. — Mörath, E., Studien über die hygroskopischen Eigenschaften und die Härte der Hölzer. Darmstadt 1932. — Münch, E., Flora Bd. 132 (1938) S. 357. — Münch, E., und M. Büsgen, Bau und Leben unserer Waldbäume. Jena 1927. — Newlin, J. A., und T. R. C. Wilson, The relation of the shrinkage and strength properties of wood to its specific gravity. Bull. 676, U.S.D.A., Washington 1919. — Paul, B. H., J. of Forestry Bd. 37 (1939) S. 478. — Pieńkowski, S., Z. Phys. Bd. 63 (1930) S. 610. — Pillow, M. Y., und R. F. Luxford, Structure, occurrence and properties of compression wood. U.S.D.A., Techn. Bull. Nr. 546, 1937. — Ritter, G. J., und L. C. Fleck, Chemistry of wood: IX. Springwood and summerwood. U.S.D.A., Juli 1932. — Schmidt, B., Z. Phys. Bd. 71 (1931) S. 696. — Siimes, F. E., On the structural and physical properties of Finnish pine wood, especially the phenomenon of shrinking and swelling affected by changing the moisture content of wood. Helsinki 1938. — Söding, H., Ber. dtsch. botan. Ges. Bd. 54 (1936) S. 291. — Stamm, J., Industr. Engng. Chem. Bd. 27 (1935) S. 401. — Trendelenburg, R., Allg. Forst- u. Jagdztg. Bd. 108 (1932) S. 1 — Z. VDI Bd. 79 (1935) S. 85 — Holz als Roh- u. Werkstoff Bd. 2 (1939) S. 12 — Das Holz als Rohstoff, seine Entstehung, stoffliche Beschaffenheit und chemische Verwertung. München 1939.

Lebenslauf.

Ich, Eugen Vintilă, wurde am 25. Juni 1908 in der Gemeinde Beresti im Kreis Covurlui (Rumänien) geboren.

In dieser Gemeinde habe ich die Volksschule im Jahre 1920 beendet. Nachher habe ich in der Stadt Barlad das Reallyzeum besucht; dort bestand ich im Juli 1928 die Reifeprüfung.

Im Herbst 1928 ging ich nach Bukarest und besuchte dort die Technische Hochschule, Forstwirtschaftliche Abteilung, bis zum Jahre 1933; in diesem Jahr erhielt ich das Ingenieur-Diplom.

Im Herbst desselben Jahres wurde ich an der Forstlichen Versuchsanstalt angestellt, wo ich im Laboratorium für die Technologie des Holzes unter Leitung des Herrn Professors Dr. M. Dracea gearbeitet habe.

Im Oktober 1937 genehmigte mir das Rumänische Landwirtschafts-Ministerium zur Erweiterung meiner Kenntnisse auf dem Gebiet der Holztechnologie einen Studienurlaub in Deutschland auf die Dauer von 2 Jahren. Seit dieser Zeit arbeite ich an der Holzforschungsstelle der Forstlichen Versuchsanstalt und Technischen Hochschule München unter der Leitung von Dr. R. Trendelenburg.

Druck der Spamer A.-G. in Leipzig. — Printed in Germany.